

# 표면감쇠파 결합 이득을 매개로 한 도파로 모드 미소공진기 레이저 연구

## Study on the Waveguide Mode Microcavity Laser via Evanescent-Wave-Coupled Gain

문희중, 박건우, 이상범\*, 안경원\*, 이재형\*  
 세종대학교 광공학과, \*서울대학교 물리학부  
 hjmoon@sejong.ac.kr

원형 미소공진기는 빛의 전반사에 의해 Q값이 매우 큰 whispering gallery mode (WGM)가 존재할 수 있어, 광통신용 Add/Drop Filter, 광집적회로 등의 저 문턱 미소공진기 레이저 등의 광소자 분야에 적용하려는 연구가 최근 진행되어 왔다. 최근 원형 공진기 외부에 이득을 위치시켜 WGM,의 표면감쇠파 결합 메카니즘에 의해 이득을 얻는 미소공진기 레이저가 보고 되었다.[1,2] 이는 WGM이 약하게 존재하는 공진기 외부에 이득이 위치하므로, 이득 메카니즘에 의한 공진기 Q값 감소나 이득 포화의 영향을 줄일 수 있는 장점을 제공한다. 그러나 단일 경계면을 갖는 원형 공진기를 이용하여 표면감쇠파 결합 레이저를 구현하면 실제 응용에 있어 상당한 제약이 따른다. 이는 레이저 출력을 외부 도파로와 표면감쇠파 결합시켜 출력시킬 때, 표면감쇠파 영역이 또한 이득 영역이 되어야 하기 때문이다.

본 연구에서는 이와 같은 단점을 해결하기 위해 두께가 매우 얇은 ring 형태의 공진기에 존재하는 도파로 모드가 ring 안쪽 외부 영역에 존재하는 이득층과 표면감쇠파 결합하여 이득을 얻는 표면감쇠파 결합 도파로 모드 레이저를 제안하고, 이를 실린더형 capillary 에서 구현한 결과를 소개하고자 한다.

제안된 구도가 그림 1에 나타나 있다. 내부 반경이  $a$ , 외부 반경이  $b$ 인 얇은 ring 공진기의 굴절률  $m_2$ 는 외부 영역 1과 내부 영역 3의 굴절률  $m_1$ ,  $m_3$ 에 비해 크다. 공진기 두께  $t = b - a$ 가 작으면 두 경계면에서 모두 전반사하여 생성되는 도파로 모드(waveguide mode)가 존재할 수 있다. 도파로 모드는 내부 영역 3에서 표면감쇠파 형태로 존재하고, 외부 영역 1로도 표면감쇠파 형태로 그 분포가 확장된다. 따라서, 이득을 내부 영역 1에 위치시키면 도파로 모드가 표면감쇠파 결합하여 이득을 얻는 미소공진기 레이저를 구현할 수 있다. 외부 영역에 분포하는 표면감쇠파는 외부의 도파로와 결합시켜 내부 출력을 인출하는데 사용되므로, 앞에서 언급한 기존의 표면감쇠파 미소 공진기 레이저의 단점을 극복할 수 있다.

제안된 구도를 실증하기 위해 기존의 실험장치와 유사한 setup을 구성하였다.[3] 내경  $a$ 가  $75 \mu\text{m}$  인 fused silica capillary ( $b = 160 \mu\text{m}$ ,  $m_1 = 1.458$ ) 내부면에 polystyrene 유전층 ( $m_2 = 1.592$ )을 코팅하였다. 유전층은 o-xylene 용액에 polystyrene을 녹여 capillary 내부에 넣고 증발시켜 얻었다. 유전층의 두께는 약  $1.5 \mu\text{m}$  정도였다. 유전층이 코팅된 내부 영역에 Rh6G가 첨가된 ( $0.9 \text{ mM/L}$ ) 에탄올 ( $m_3 = 1.361$ )을 흘려 이득 영역으로 사용하였다. Nd:YAG 제 2 조화파 펄스 ( $532 \text{ nm}$ ,  $10 \text{ ns}$ )를 조사하여 여기 광으로 사용하였고 발생된 신호는 spectrometer로 관측하였다.

그림 2는 관측된 레이징 스펙트럼을 보여준다. (a)는 에탄올 액체를 사용하였을 경우의 스펙트럼으로 모드 간격이 약  $0.49 \text{ nm}$ 로 관측되었다. 이는 얇은 polystyrene 유전층 공진기의 광경로 길이로부터 얻은

값 0.46 nm 와 실험적 오차안에서 일치하였다. 따라서 발진된 레이징 신호는 얇은 유전층 공진기 모드임을 알 수 있다. 얇은 유전층 공진 모드 중 WGM은 내부 이득층 3에 모드가 확장되지 않기 때문에 이득을 얻을 수 없으므로, 발진된 모드는 이득층 3에 표면감쇠파 형태로 확장되는 도파로 모드이어야만 한다. 본 연구에서는 내부 이득층의 굴절률  $m_3$ 을 변화시키면서 발진 피크의 이동을 더불어 관측하였고, 이로부터 발진 도파로 모드가 내부 이득층에 표면감쇠파 형태로 확장되어 있는 비율이 약 1/12 정도임을 확인하였다. 나아가, 발진 스펙트럼의 중심 파장을 분석하여 발진된 도파로 모드의 유효 Q값이 약  $2 \times 10^6$  정도임을 확인하였다.

\* 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 (R01-2002-000-00019-0) 지원으로 수행되었음.

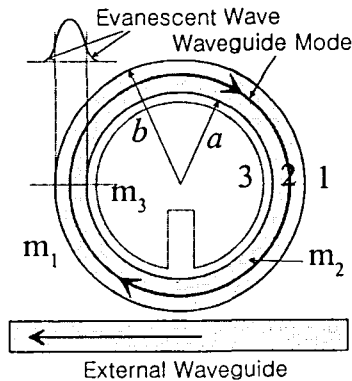


그림 1. 제안된 링형 레이저

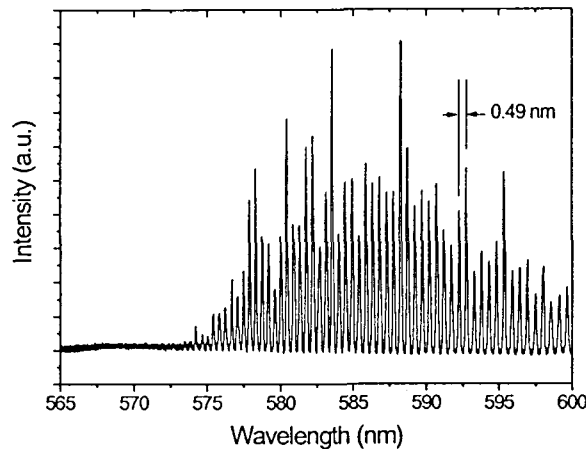


그림 2. 발진된 레이징 스펙트럼

참고문헌

- [1] H. J. Moon et al., Phys. Rev. Lett. 85, 3161 (2000).
- [2] Y. S. Choi et al., J. Kor. Phys. Soc. 39, 928 (2001).
- [3] H. J. Moon et al., Appl. Phys. Lett. 80, 3250 (2002).

T  
F